

# 変化球の秘密 ～なぜ変化するのか～

茨城県立並木中等教育学校  
2年次 岩田 明香里

## 1. 研究の動機

私は、中学校で野球をしている。いつも、野球をしている時やプロ野球や甲子園を見ている時に、なぜ投手が投げる変化球は、ボールの持ち方とボールの投げ方を変えているだけできれいに変化するのかと疑問に思った。調べてみると、この疑問を既に多くの人が持っていて、実際に解明した人も多い。しかし、その検証方法の多くは、数値計算を使ったり、シミュレーターを使ったりで、実際に実験を行ってはいなかった。実際に実験して変化するということを証明し、いつかオリジナルの変化球を考えたいと思い、この研究を始めた。

## 2. 研究の目的

以下の①の疑問を解明するのが、この研究の目的である。そして、②から⑨の球の条件による、「変化の有無、変化の大きさ」について調べれば、①の疑問を解明できると考えた。

①変化球は、なぜ変化するのか	←	②球速 ③球の回転速度 ④球の表面の粗さ ⑤球の軸の角度 ⑥球の縫い目の位置 ⑦球の大きさ ⑧球の回転の向き ⑨軟球、硬球、それぞれの球の中での種類の違い
----------------	---	---

### ※変化球とは

変化球の力学的な定義は、「重力以外の力が球に働き、球の軌道が放物線からずれるもの」である。ストレートを含む、全ての球種を変化球という。



図1 ストレート(左)とカーブ(右)の握り方

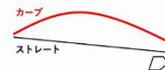
①種類：一般的に約6つ、約 23 種ある。

・ストレート系 ・スライダー系 ・カーブ系 ・フォーク系 ・シンカー系 ・シュート系

②投げ方：最もよく知られるストレート(フォーシーム)とカーブについて説明する。(図1,2)

\*ストレート：上下左右にあまり変化せずに、まっすぐ飛んでくるように見える球。 図2 ストレートとカーブの軌道

\*カーブ：一度浮き上がって高いところから急激に落ち、左右どちらかに変化する球。



## 3. 仮説

球を投げる時、球は一定の方向を軸にして回転する。ある1面、A面は空気の流れ(風)と同じ方向に回転し、反対側のある1面、B面は風に逆らって回転する。その時に、A面は投げたときの風の影響も受けるから、流れが速くなる。B面は風に逆らうので、流れがゆっくりになる。すると、口に紙をはさんで息を吐いたときに紙は上に行く時と同じように、球はA面の方にいこうとする。これが変化の理由ではないかと考えた。

## 4. 研究の方法

**(1) 研究の進め方：** 今回の実験では、球周りの「風」が重要なので、風が見え計測できる実験をしたいと考えた。飛行機の揚力などの風洞実験の写真を参考にし、飛行機の翼である部分を球にして実験することにした(図3)。

**①実験装置を作る：** 飛行機の翼の実験のような風洞を製作し、実際と同じような球速、回転速度をもったものを製作する。その際、「2. 目的」の②から⑨のような条件で変えられるかを考慮した。以下の順で、本物にだんだん近づけていく。(1)球なしで流れの変化をみる実験→(2)球あり、回転なしで変化をみる実験→(3)球あり、回転ありで変化をみる実験→(4)風洞の中に煙をいれて、球周辺の動きを可視化する実験

**②実験する：** 煙をおこして球周辺の空気の流れを見たり、風速・動圧を測り、変化をみる。 **③原理を考察する**

**(2) 実験装置の条件：** 実際の球と同じ環境になるように製作した。

**①目標：** 球速は 100km/h(27m/s)以上、回転数は 1800rpm 以上(約 30 回転/s)以上

**②変えること：** 球速、球の回転速度、球の縫い目の位置、球の表面の粗さ(つるつる、でこぼこ)、球の軸の角度、球の縫い目の位置・球の大きさ、球の素材、球の回転の向き(ストレート回転を+、カーブ回転を-とおく)



図3 実験装置の様子

**(3) 製作した実験装置：** 以下の記号で呼ぶ。

・球 ア:発泡スチロール 70mm つるつる イ:発泡スチロール 70mm でこぼこ ウ:発泡スチロール 50mm つるつる エ:発泡スチロール 45mm でこぼこ ク:軟式 M 球 68mm 編目ありストレート軸 ケ: 軟式 M 球 68mm 編



○上: ・全ての球で、球から離れていくにつれて風速は増える。動圧も少し増える。

○下: 全ての球で、球から離れていっても風速はほぼ変化しないか少し減少する。動圧も、球から離れていくにつれ変化しないか少し減少しているが、軟式M球 2 つは動圧が増加した。⇒風速が減少、動圧は増加とはどのような現象か。(図 12)

○左右: 全ての球でbよりdのほうが風速、動圧が大きい。⇒II の場所による当たり具合の差だと思う。(図 13)

2) 球による違い

○変化球: ストレートの a, a', a'' の変化が他に比べ少ない

○質: c で、M 球は風速、動圧が増加しているが、他は減少。

○大小: ・小さい球の方が全体的に風速、動圧が大きい。しかし、表面がでこぼこの大小の球は、変わらない⇒なぜか。

○表面: 球からの距離や風速、動圧であまり違いは見られない。・アの B だけ減少している。⇒誤計測。(図 14)

(3) 球あり、回転ありで変化をみる実験

1) 球からの距離

○後ろ: ・球から離れていくにつれ風速は速くなった。・動圧は、全ての球で、球と 1 cm もないほど近い時は 0.01KPa、その後0KPa に戻り、10 cm でまた 0.01、2KPa と増え始めた。⇒球が回転するときの摩擦によって動圧が大きくなっているのだろう。

○上: ・風速は、球から離れていくにつれ小さくなった。

○上下: 回転数が 900rpm 程

のとき、球から 1 cm 程のところでは、全球種で球の下の方が風速、動圧が大きい。球から 3 cm 程のところでは、球の上の方が風速が大きい。また、動圧は球の下の方が大きい。球から 5cm 程のところも、3 cm と同じだが、風速が球の上下で比例しているように感じる。回転数が 1300rpm 程のとき、全ての球からの距離で球の下の方が風速、動圧が大きい。球から離れていくにつれ上下の差は少なくなる。また M 球の方が上下の差が若干少ない。

○下: 風速は、球からはなれていくにつれ、小さくなった。動圧は大きくなるもの、小さくなるもの両方あった。

○左右: ・回転なしのときと同じく、b より d の風速、動圧のほうが速くなっていた。

2) 回転速度

○上: ・ドリルの回転数が多い方が風速が少なく、その変化量が少ない。・また、ドリルの回転数が多い方が動圧は大きくなった。⇒ドリルの回転数が多いほうが風速が速く、動圧も大きくなると思っていた。

○下: ・ドリルの回転数が多い方が風速が大きくなった。・動圧は、若干小さくなっていた。

3) 球による違い

○大小: 球の上の風速が大きい球の方が少し大きかった。動圧はほぼ大きい球の方が大きかった。⇒大きい球の方が、流れを回転させる距離が長いから。(図 18)

○表面: 表面による変化は見られなかった。表面がざらざらの方が、球のすぐ上の風速は大きいけど動圧は小さ

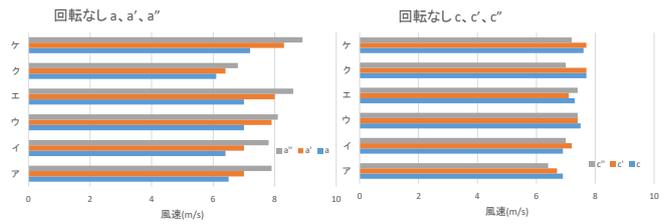


図 12 回転なし上下の差

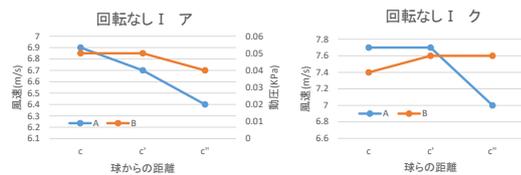


図 14 回転なし球の表面の差



図 13 回転なし球の左右の差

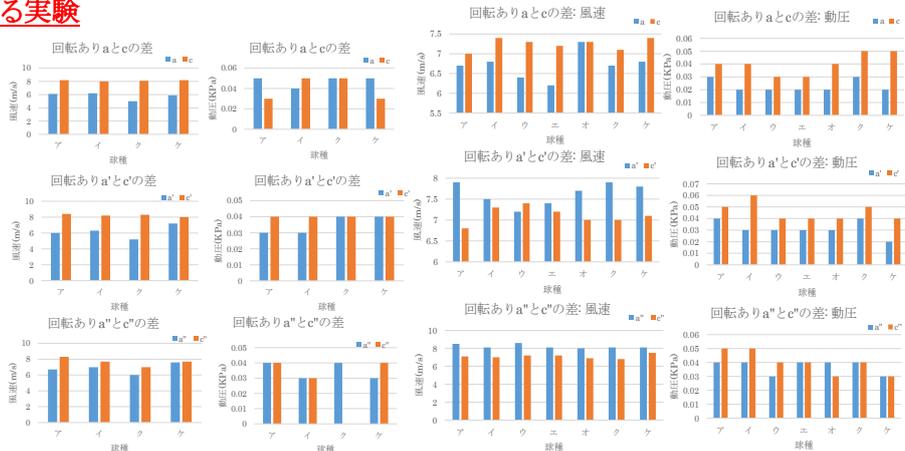


図 15 回転あり上下の差(左:ドリル 1300rpm 右:モーター900rpm)

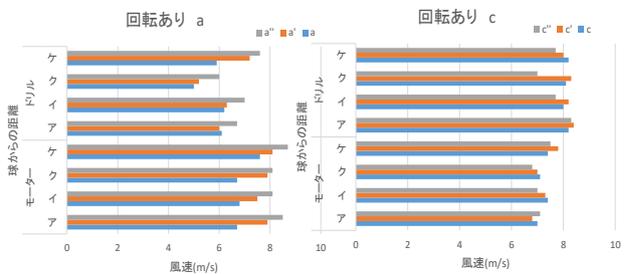


図 16 回転あり上下の回転速度の差

い。球のすぐ下の風速は表面に関係がなかった。(図 17)  
 ○質: グラフが全面的に違い、比較するのが難しかった。  
 ○変化球: ストレートは上下とも気圧は下がり、風速は上がる。

## 7. 実験の結果2

### (1) 風洞の中に煙をいれて、球周辺の動きを可視化する実験

・送風機の強さ(Ⅰ、Ⅲ弱・強) ・球の回転速度(静止、低速、中速、高速) ・カメラのシャッター速度(1/200、1/60、1/20) 以上の3つを組み合わせ、2回ずつ実験した。5cm くらいの煙の線が見えるように、風速をもとにシャッタースピードを調整した。また、球の回転速度は、低速約 100~200rpm、中速約 400~700rpm、高速 900~1300rpm とおく。(図19)

1) i、ii、iii の実験: 煙は沢山出たが、送風機の風で風洞の中に流れる間に消えた。

2) iii の実験: 送風機がⅠ、Ⅲ弱のときはうまくいかなかったが、送風機が、Ⅲ強のときだけ、うまく球周りの空気の動きを見る事ができた。(図 20) ○結果: 煙 iii が球の周りに来た時に、上と下の二手に分かれた。下の方が多くの煙 iii があるように感じた。また、球の下を通り抜けた煙 iii は、その後各方向へ散らばっていった。重力の影響もあり、球を通るあたりで下に落ちてしまう煙 iii もあった。球の後方には渦は出来なかった。



図18 回転あり大小の差

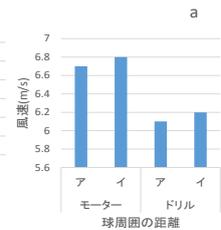


図17 回転あり表面の差



図19 実験装置



図20 煙 iii、送風機Ⅲ強、回転速度中速の風洞の様子

### (2) 全ての実験において

風速が増加すると、動圧も増加した。(図 21)

## 9. まとめ

今回、球の上は速度が大きく、下は速度が小さくなったデータもあった。また、風速が大きくなると動圧も大きくなった。調べたところ、ベルヌーイの定理で、風速が大きくなると圧力(静圧)は小さくなるようだ。よって、今回は測ることが出来なかったが、球の上は圧力が小さく、球の下は圧力が大きくなっているはずだ。ストレートの場合はこれによって球が浮き、カーブの場合は 90 度回転させて横に変化しているのだろうと考える。今回、マグナス力そのものを計測し、目で見て実験できたわけではない。マグナス力、変化球を計測により目で見て実感し、新しい変化球を見つけてみたい。

今回の研究を通して、研究の目的で挙げた疑問に対して、以下の結論を得た。

- ③球の回転速度⇒球の上は回転数が多い方が風速が小さく動圧は大きい、球の下は回転数が多い方が風速が大きくなり、動圧はあまり変わらない。
- ④球の表面の粗さ⇒大きな変化はないが、表面が粗い方が少し風速が速くなる。
- ⑥球の縫い目の位置⇒球種特有の変化などはみられない。
- ⑦球の大きさ⇒回転する時、大きい方が、周囲の風速、動圧が大きい。
- ⑨球の種類の違い⇒M 球の方が他の球よりも少し風速、動圧が大きい。
- ②球速、⑤球の軸の角度、⑧球の回転の向き、⑨硬式と軟式の違い⇒実験できていない。

### <今後の課題>

・送風機: 今回、ブロワは 30m/s も出なかったの、100km/h 以上の風がでるものを探したい。  
 ・球: 実験の際、球の中心に穴をあけられず、回転させるときに実験装置ががたがたしたので丁度真ん中に穴をあけられるようにしたい。  
 ・球の素材: 使った発泡スチロールやウレタン製の球は、中心の金属の棒を抜き差しするときに中身が出てきてしまったので中身がこぼれない工夫をしたい。  
 ・球を回転させるもの: 今回、ドライバドリルを使ったが、実際の球は 1800rpm なので、安く、沢山回転させられるものを探したい。  
 ・煙: 安全にたくさんの煙が出るものを探したい。  
 ・微粒子: 微粒子を一定の量、同じ時間で風洞の中に通す工夫を考えたい。  
 ・計測系: 圧力(静圧)を測れるものを考えたい。  
 ・方針: なぜベルヌーイの定理に反する結果が出たのかを考え、次に生かしたい。

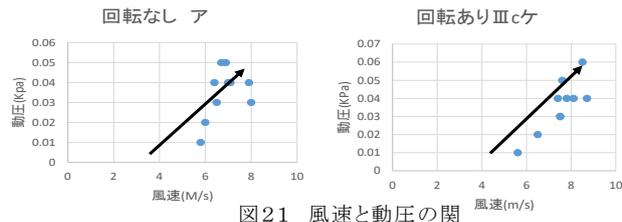


図21 風速と動圧の関